

Лян Шиюэ (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Годымчук Анна Юрьевна,
к.т.н., доцент

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА НАНОЧАСТИЦ НА КОРНЕОБРАЗОВАНИЕ ПШЕНИЦЫ

Введение

Наночастицы оксида алюминия (Al_2O_3) широко используются в коммерческих и промышленных целях, включая сорбенты [1], катализаторы [2] и армированный износостойкий материал [3]. При этом показано, что промышленные наночастицы Al_2O_3 могут быть токсичны по отношению к водорослям [4], клеткам [5] и высшим растениям [6].

В литературе имеются данные, которые ярко показывают, что размер частиц является важным фактором токсичности, как показано на примере наночастиц Ag (20, 51 и 73 нм) [7], Ag (10, 20, 51 и 73 нм) [8] и Ag (7, 12 и 22 нм) [9]. Однако, не смотря на высокую актуальность, данных по влиянию размера частиц на растения до сих пор недостаточно.

Целью данного исследования было показать влияние размера наночастиц алюминия на корнеобразование семян пшеницы.

Экспериментальная часть

В работе применяли промышленные наночастицы Al_2O_3 с размером 20 нм (Al_2O_3 -20, производства NanoAmor, США), 45 (Al_2O_3 -45, ООО «Передовые порошковые технологии», Россия) и 140 нм (Al_2O_3 -140, ООО «Платина», Россия). Семена пшеницы сорта «Ирень» (*Triticum aestivum* L.) урожая 2017 года были предоставлены агрофирмой ИП Орищенко (Томский район, Россия).

В качестве среды прорастания в работе готовили суспензии наночастиц на основе раствора Хьюитта (табл.1, [10]). Раствор Хьюитта также использовали в качестве контроля (К).

В суспензиях наночастиц концентрация по алюминию составляла 10 и 100 мг/л. Для взвешивания использовали весы ALC-110d4 (ACCULAB, Россия, точность $\pm 0,0001$). Все суспензии обрабатывали в ультразвуковой ванне DR-LQ20 (МосРемТех, Россия, мощность 60 Вт) в течение 30 мин.

Для проращивания семян на дно чашки Петри (диаметр 9 см) размещали фильтровальную бумагу, на которую равноудаленно помещали 20 семян. В каждую чашку добавляли 7 мл свежеприготовленной среды прорастания, закрывали чашки и выдерживали их при $25 \pm 2^\circ C$ в термостате ТС-1/80 (СПУ, Россия).

Таблица 1

Состав питательного раствора Хьюитта

Макрокомпоненты раствора	Концентрация, мг-экв/л	Микрокомпоненты раствора	Концентрация, моль/л
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	8	CuSO ₄ ·5H ₂ O	~ 10–6
KH ₂ PO ₄	2	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	~ 10–6
K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O	2	(NH ₄) ₂ MoO ₄	~ 10–6
KNO ₃	2	MnSO ₄	~ 10–5
MgSO ₄ ·7H ₂ O	3	H ₃ BO ₃	5·10–5
NH ₄ NO ₃	1	Хелат Fe	5·10–5

Через 48 ч проросшие семена выкладывали на черную бумагу для фотометрии длины корней, из которой рассчитывали степень подавления корня (R, %, отношение разницы в длине корня к длине корня, проросшего в контроле). Также рассчитывали всхожесть семян (G, доля проросших семян в чашке).

После анализа, семена возвращали в чашки, закрывали и помещали под климатическую лампу (300 Лк) для культивации побегов при 25±2°C в течение 5 дней. Отрезанные корни и побеги высушивали при 30±0,5°C в течение 24 ч и взвешивали для расчета корневого индекса (RI, отношение массы корня к массе побега).

Результаты и обсуждение

Анализ экспериментальных данных позволил показать, что все исследуемые наночастицы независимо от размеров подавляют корнеобразование семян минимум на 50% (рис.1). При этом очевидно, что независимо от выбранной концентрации степень подавления корневой системы пшеницы возрастает с увеличением размера частиц. Например, при концентрации алюминия 100 мг/л величина R составляла -51...-55....-62% для наночастиц с размером 20...45...140 нм (рис.1).

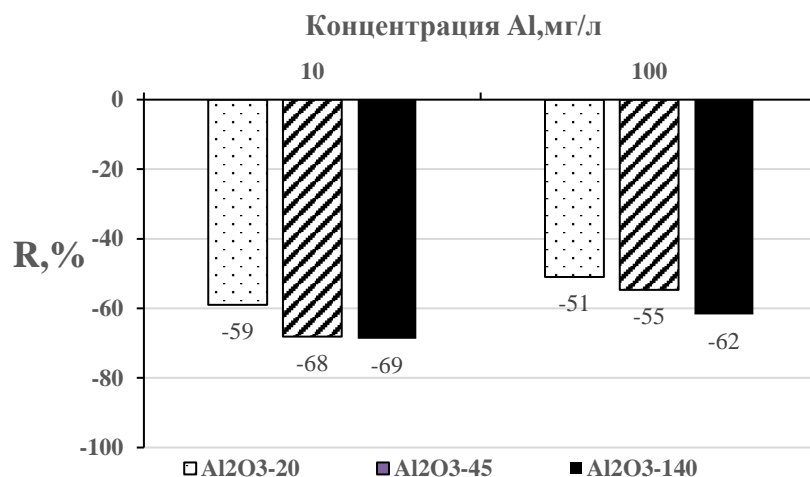


Рисунок 1. Влияние размера наночастиц Al₂O₃ на степень подавления корня

Установлено, что при добавлении наночастиц в среду прорастания всхожесть в целом уменьшается по сравнению с контролем (40%, рис.2). Однако, влияние размера на однозначно в выбранной линейке частиц. При этом видно, что независимо от концентрации для частиц с размером < 100 нм чем меньше размер, тем выше значение всхожести. Например, при концентрации алюминия 10 мг/л с увеличением размера частиц от 20 до 45 нм, всхожесть уменьшается в 2 раза (рис.2).

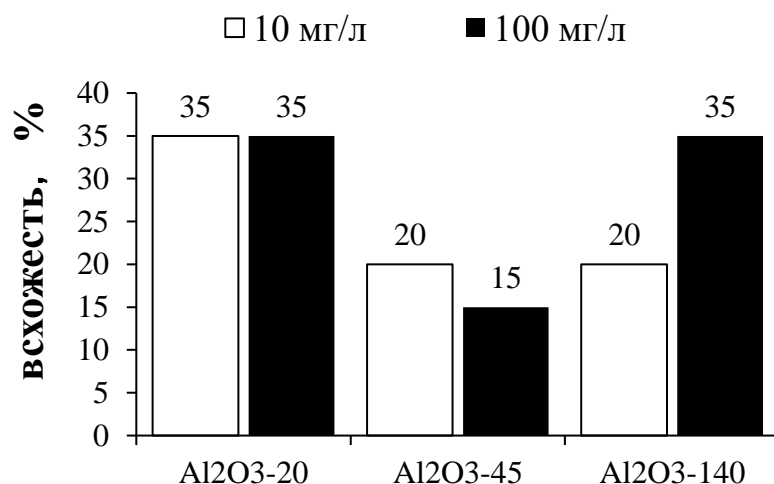


Рисунок 2. Влияние концентрации Al на всхожесть (G) семян.
В контроле G=40%.

Далее установлено, что корневой индекс, показывающих стрессоустойчивость растений в выбранных условиях очень зависит не только от размера, но и от концентрации. Видно, независимо от размера частиц

в более концентрированных суспензиях (100 мг/л) происходит преимущественно образование надземной части, в то время как при уменьшении концентрации до 10 мг/л снижает образование корневой биомассы для проростков. Например, для наночастиц Al_2O_3-20 величина RI составляет 0.14 и 0.72, соответственно для суспензий с концентрацией алюминия 10 и 100 мг/л (рис.3).

В то же время показано, что независимо от концентрации с уменьшением размера корневой индекс уменьшается. Например, при концентрации 10 мг/л величина RI составляет 0.14...0.13...0.09 для частиц с размером 20...45...140 нм (рис.3). Такой результат говорит о том, что при уменьшении размера частиц будет больше образовываться фотосинтезирующей массы у пшеницы.

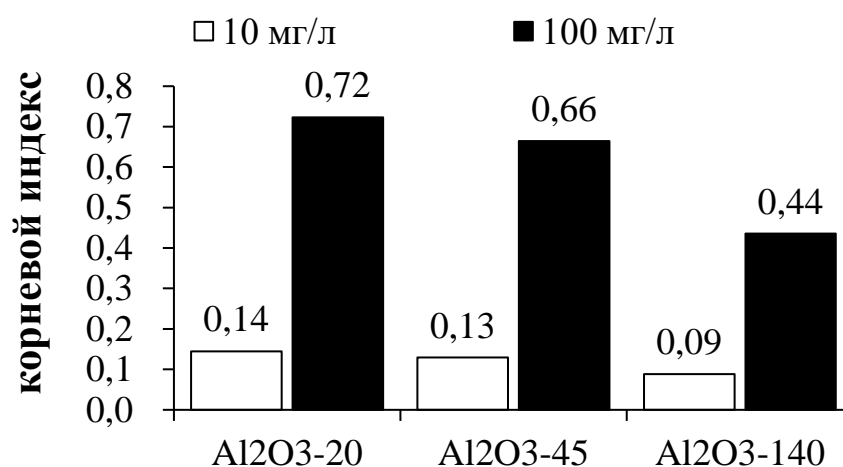


Рисунок 3. Влияние концентрации Al на корневой индекс (RI)
В контроле RI=0.36

Анализируя полученные данные о влиянии размера частиц на корнеобразование семян пшеницы, можно сделать следующие выводы. С одной стороны, частицы меньшего размера более активно подавляют корнеобразование, о чем свидетельствует меньшая длина корня проростка (рис.1). С другой стороны, видно, что корневой индекс для проростков, выросших с добавлением мелких частиц, больше (рис.2). Следовательно, корневой массы образуется больше по сравнению с надземной частью. По всей видимости, добавление наночастиц способно изменять такой параметр растений, как стрессоустойчивость – способность укрепляться корневой системой при воздействии неблагоприятных факторов.

Заключение

Таким образом, в работе на примере промышленных наночастиц Al_2O_3 со средним размером 20, 45 и 140 нм показано, что размер наночастиц оказывает большое влияние на корнеобразование семян пшеницы, что выражено в подавлении роста корня проростка. Также установлено, что чем меньше размер, тем выше стрессоустойчивость растения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Li C., et al. Highly efficient and stable PEI@ Al_2O_3 adsorbents derived from coal fly ash for biogas upgrading // *Chemical Engineering Journal*. – 2021. – Vol.409 – P.128117.
2. Oberlander R.K. Alumina for catalysis: their preparation and properties // *Applied Industrial Catalysis*. – 1984. – P. 63.
3. Sawyer W.G., Freudenberg K.D., Bhimaraj P., Schadler L.S.. A study on the friction and wear behavior of PTFE filled with alumina nanoparticles // *Wear*. –2003. –Vol. 254. –P. 573-580.
4. Sadiq I.M, et al. Studies on toxicity of aluminum oxide (Al_2O_3) nanoparticles to microalgae species: *Scenedesmus* sp. and *Chlorella* sp. // *Journal of Nanoparticle Research*. – 2011. – Vol.13. – P.3287-3299.
5. Tsaousi A., et al. The in vitro genotoxicity of orthopaedic ceramic (Al_2O_3) and metal (CoCr alloy) particles // *Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. – 2010. – Vol.697(1) – P.1-9.
6. Rico C.M., et al. Interaction of nanoparticles with edible plants and their possible implications in the food chain // *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. – 2011. – Vol.59(8). – P.3485-3498.
7. William F.F, et al. Phytotoxicity of silver nanoparticles on *Vicia faba*: Evaluation of particle size effects on photosynthetic performance and leaf gas exchange // *Science of The Total Environment*. – 2020. – Vol.701. – P.134816.
8. Scherer M.D., et al. Cytotoxic and genotoxic effects of silver nanoparticles on meristematic cells of *Allium cepa* roots: A close analysis of particle size dependence // *Science of The Total Environment*, – 2019. – Vol.660. – P.459-467.
9. Silva G.H., Monteiro R.T.R. Toxicity assessment of silica nanoparticles on *Allium cepa* // *Ecotoxicology and Environmental Contamination*. – 2017. – Vol.12. – P.25-31.
10. Hewitt E.J. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition // *Experimental Agriculture*. – 1967. – Vol.2(3). – P.104.